

# 무선 센서 네트워크에서 지연과 버스티 트래픽에 적합한 MAC 프로토콜

김혜윤<sup>†</sup>, 김성철<sup>\*\*</sup>

## A Delay Efficient and Bursty Traffics Friendly MAC Protocol in Wireless Sensor Networks

Hye Yun Kim<sup>†</sup>, Seong Cheol Kim<sup>\*\*</sup>

### ABSTRACT

Data packets from sensor nodes scattered over measuring fields are generally forwarding to the sink node, which may be connected to the wired networks, in a wireless sensor network. So many data packets are gathered near the sink node, resulting in significant data packet collisions and severe transmission latency. In an event detection application such as object tracking and military, bursty data is generated when an event occurs. So many data packet should be transmitted in a limited time to the sink node. In this paper, we present a delay efficient and bursty traffic friendly MAC protocol called DEBF-MAC protocol for wireless sensor networks. The DEBF-MAC uses a slot-reserved mechanism and sleep period control method to send multiple data packets efficiently in an operational cycle time. Our simulation results show that DEBF-MAC outperforms DW-MAC and SR-MAC in terms of energy consumption and transmission delay.

**Key words:** Delay, Bursty Traffics, Duty-cycle, Energy Efficient MAC Protocol, WSNs

### 1. 서 론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks, WSNs)는 다량의 무선 센서 노드들을 응용의 목적에 따라 필요지역에 배포하여 온도, 습도, 산불 감지, 생태계 감시, 물체 이동 검출 등의 정보를 수집하여 최종 싱크 노드로 측정된 정보를 전달하는 효율적인 네트워크이다. 최근에는 무선 통신 기술, 임베디드 시스템, 센서 기술 등의 발달로 인하여 위에서 언급한 환경 모니터링 뿐 만 아니라 국방과 산업 전체에 걸쳐 그 활용이 증가하고 있다. WSN를 구성하고 있는 센서 노드는 일반적으로 초기에 장착된 배터리에 의해 동작되고, 장착된 배터리의 교체가 어려운 이유

로 인하여 초기 에너지가 다 소모될 경우 센서 노드의 역할을 수행할 수 없게 되어 전체적인 네트워크가 동작하지 않는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 지금까지 많은 WSN에 대한 연구들은 초기에 장착된 배터리를 효율적으로 사용하기 위한 방법에 대해 집중되어 왔다[1-4]. 일반적으로 WSN은 애드 혹(ad hoc) 구조를 가지며, 각 센서 노드에서 수집된 데이터를 여러 싱크 노드 방향의 센서 노드들을 거쳐 최종적으로 싱크 노드로 전송한다[6-7]. 이와 같은 특성으로 인하여 싱크 노드에 인접한 센서 노드들에게 여러 노드들로부터 받은 데이터가 집중되기 때문에 싱크 노드 주변 노드들은 전송해야 할 많은 데이터를 가지게 된다. 이를 funneling 효과[5]라 부르는

※ Corresponding Author : Seong Cheol Kim, Address: (03016) 20 Hongjimun-2 Gil, Jongno-Gu, Seoul, Korea, TEL : +82-2-2287-5315, FAX : +82-2-2287-0072, E-mail : sckim@smu.ac.kr

Receipt date : Nov. 14, 2016, Approval date : Jan. 17, 2017s

<sup>†</sup> Dept. of Computer Science, SangMyung University (E-mail : hyeyun0201@gmail.com)

<sup>\*\*</sup> Dept. of Computer Science, SangMyung University

데, 이러한 전송 데이터 트래픽의 증가로 인하여 싱크 노드 주변에서 데이터 패킷의 충돌, 혼잡 및 손실이 다른 곳에서보다 더 빈번히 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 intensity region을 지정하고 영역 내의 센서 노드들은 TDMA 방식과 CSMA 방식을 동시에 사용하고, 이외에 지역에서는 CSMA 방식을 사용하는 방식인 Funneling-MAC[5] 프로토콜이 제안되었다. 그러나 Funneling-MAC 프로토콜에서 각 센서 노드들은 소스 노드 및 홉 수 정보를 가지고 있어야 되므로 이를 해결하기 위한 복잡한 알고리즘을 필요로 하는 문제점을 가진다. 본 논문에서는 이러한 기존의 프로토콜에서의 문제점을 해결하며 많은 데이터가 한꺼번에 생성되는 환경에서 지연과 에너지 효율적인 DEBF-MAC(Delay Efficient and Bursty Traffic Friendly MAC) 프로토콜을 제안한다. DEBF-MAC 프로토콜에서는 Sleep 구간에서 전송된 데이터 패킷의 충돌 없는 전송을 지원하기 위해 슬롯 예약 메커니즘을 가진다. 뿐만 아니라 물체 감지 발생과 같은 이벤트가 발생하였을 경우 하나의 노드에서 여러 데이터 패킷 하나의 전송 구간에서 전송할 수 있으며, 데이터 발생이 적을 때에도 에너지 효율적인 동작을 할 수 있도록 Sleep 구간을 조절한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 다음 2절에서는 관련된 기존 논문에 대해 설명하고, 3절에서는 본 논문에서 제안된 DEBF-MAC 프로토콜 설계에 대해 설명한다. 4절에서는 기존의 프로토콜과의 성능 비교가 이루어지고, 마지막 5절에서는 결론으로 맺는다.

## 2. 관련연구

RMAC[8]은 duty-cycle 기반의 MAC 프로토콜이며, 멀티 홉 네트워크 구조에서 데이터 패킷 전송지연을 줄이는데 유효한 프로토콜이다. 이를 위해 RMAC은 패킷의 순방향 전송 경로에서 전체 멀티 홉 전송지연을 줄이기 위한 cross-layer 라우팅 정보를 사용한다. RMAC 프로토콜은 Sync, Data, 그리고 Sleep 세 구간으로 구성된 스케줄링 메커니즘을 사용한다. 전송되어지는 신호를 직접 수신할 수 있는 영역 안, 즉 가장 클러스터에 있는 모든 노드들이 Sync 구간에서 전송 스케줄에 대한 정보를 통해 동기화된다. 전송할 데이터를 가지는 노드는 Data 구간에서 PION 프레임을 전송하는데, 이 PION 프레임은 IEEE 802.11 프로토콜의 RTS/CTS 역할을 담당한다.

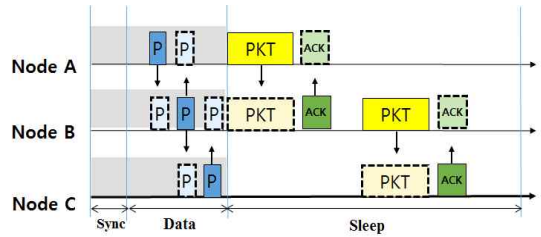


Fig. 1. RMAC Protocol scheduling.

Fig. 1에서 볼 수 있듯이 하나의 동작 사이클에서 노드 B와 C에게 Sleep 구간 동안 언제 wakeup하여 데이터 패킷을 전송하고 수신할 수 있는지를 알리기 위해 Data 구간에서 멀티 홉을 통해 PION 프레임을 순방향 전송한다. Data 구간에서 PION 프레임을 전송한 노드와 이 PION을 수신한 노드를 제외하고 다른 모든 노드들은 Sleep 구간에서 자신의 radio를 off 하고 sleep 모드로 들어간다. 그러나 PION 프레임을 전송한 노드들과 PION 프레임을 수신한 노드들은 정해진 시간에 wakeup하여 데이터 전송에 참여한다. PION 프레임의 순방향 전송은 Data 구간이 끝날 때까지 지속된다. 그러나 RMAC에서 패킷의 전송은 항상 Sleep 구간이 시작되는 곳에서 이루어지기 때문에 채널 사용 허락을 받고 Data 구간에서 PION 프레임을 전송한 숨은 터미널 노드들이 전송한 패킷이 충돌될 수 있어 전체 패킷 전송 지연을 증가시키는 문제점을 가진다. RMAC에서의 숨은 터미널 문제(hidden terminal problem)로 인한 전송 데이터 충돌 문제점을 해결하기 위해 DW-MAC[9]이 제안되었다. DW-MAC도 RMAC 프로토콜과 마찬가지로 Sync, Data, Sleep의 세 구간으로 나누어진 동기화된 duty cycle MAC 프로토콜이다. DW-MAC에서는 Sleep 구간에 노드가 데이터를 전송하기 위해 wake-up 하는 시간이 동일한 노드가 Data 구간에서 SCH 프레임을 전송한 시간과 일대일(one-to-one) 매칭된 시간에 데이터를 전송하므로 전송 데이터의 충돌을 막는다. DW-MAC에서 사용하는 SCH 프레임은 RMAC의 PION 프레임과 같은 역할인 스케줄링 프레임이다. 아래 Fig. 2는 DW-MAC에서 패킷 전송 과정에 대한 송신 노드와 수신 노드 사이의 스케줄링을 보여 주고 있다. Sleep 구간에서 보낼 데이터를 가지는 노드는 Data 구간에서 먼저 SCH 프레임을 전송하는데, 이 SCH 프레임을 전송한 시간과 SCH 프레임 구간 값이 나중에 Sleep 구간에서 데이터 패

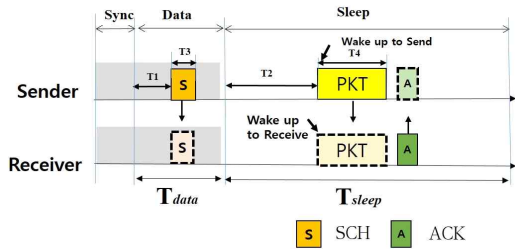


Fig. 2. DW-MAC protocol scheduling.

킷을 전송하는데 필요한 시간 및 구간을 결정하는데 사용된다. 이들 관계식은 다음과 같다.

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_4}{T_3} = \frac{T_{Sleep}}{T_{Data}} \quad (1)$$

관계식 (1)에 따라 DW-MAC은 언제 전송 노드와 수신 노드들이 Sleep 상태에서 wakeup하며, 또한 얼마동안 채널을 사용하는지를 결정한다. Fig. 2에서 볼 수 있듯이 노드 S가 Data 구간의 시작 시간으로부터  $T_1$  떨어진 곳에서 SCH 프레임의 전송했고, 또 그 SCH 프레임의 전송시간이  $T_3$ 이라고 가정할 때, 관계식 (1)로부터 Sleep 구간  $T_2$  에서 데이터 패킷을 전송하게 된다.

일대일 매핑 함수를 통해 Sleep 구간에서 전송되어지는 데이터 패킷은 충돌되지 않는다. 그러나 이벤트 발생 시에 노드에서 여러 데이터 패킷을 전송할 경우, 노드는 여러 사이클을 사용하여 전송할 수밖에 없다. 따라서 이벤트가 발생하는 응용에서 DW-MAC은 전체 전송지연을 늘이는 문제점을 가진다. 앞에서 살펴 본 것과 같이 RMAC은 숨은 터미널 노드들이 Sleep 구간의 시작 시간에 데이터 패킷 전송을 함으로써 전송된 패킷이 충돌될 수 있는 문제를 가지며, 이를 해결하기 위해 제안된 DW-MAC에서는 이벤트가 발생하는 환경에서 하나의 노드가 여러 개의 패킷 전송이 필요할 때 하나의 동작 사이클에서 보낼 수 없고, 여러 개의 동작 사이클을 통해 보내야하기 때문에 전체 패킷 전송 지연이 증가하는 문제를 가진다. 이 문제를 해결하기 위해 SR-MAC이 제안되었다[10]. SR-MAC은 duty 사이클을 가지는 동기식 MAC 프로토콜이다. SR-MAC도 앞의 RMAC과 DW-MAC에서와 같이 하나의 동작 사이클이 Sync, Data, 그리고 Sleep 구간으로 나누어진다. 그러나 SR-MAC은 하나의 사이클의 Sleep 구간 동안 이웃 노드들과 데이터 패킷 전송을 위해 슬롯 예약 메커니

즘을 가진다. SR-MAC에서 Data 구간과 Sleep 구간 모두 동일한 수의 슬롯으로 나누어진다. 전송할 데이터를 가지는 노드는 CSMA/CA 프로토콜을 사용하여 SRF(slot-reserved frame)을 Data 구간에서 전송한다. 이 SRF 프레임은 RMAC의 PION 프레임과 DW-MAC의 SCH 프레임과 유사한 기능과 동작을 가진다. 뿐 만 아니라 SR-MAC은 이벤트 발생 시 하나의 노드에서 여러 개의 패킷 전송을 지원하기 위해 Sleep 구간을 여러 개의 프레임으로 나누어, 이벤트를 감지한 노드가 여러 프레임을 하나의 동작 사이클 동안에 보낼 수 있도록 각 프레임의 동일한 위치에 있는 슬롯을 사용하여 데이터 패킷을 전송할 수 있다. 이에 대한 동작이 Fig. 3에서 보여 주고 있다.

여기서 각 프레임의 슬롯의 수( $M$ )는 다음의 식 (2)를 만족해야 한다.

$$M \leq \frac{T_{sleep}}{T_{sleepslot}} \quad (2)$$

여기서  $T_{sleepslot}$ 은 각 sleep 슬롯의 길이,  $T_{sleep}$ 은 Sleep 길이이다. SR-MAC은 이벤트 발생 시 하나의 노드에서 여러 개의 데이터 패킷을 보낼 수 있어서 전송 지연을 줄일 수 있다는 장점을 가진다. 그러나 한꺼번에 보낼 수 있는 데이터 패킷의 수가 Sleep 구간 길이에 제한을 받을 수 있고, 더욱이 센서 네트워크 기술의 발전으로 인해 다양한 응용, 특히 영상 전송과 같은 응용에서 버스티한 데이터를 제한된 시간 내에 전송하지 못할 수 있는 단점을 가진다. 뿐만 아니라 이벤트 발생과 같은 응용에서 이벤트가 발생하지 않을 경우에는 전송해야할 데이터가 적기 때문에 슬롯 예약 시스템에서 많은 자원이 낭비될 수 있는 단점을 가진다.

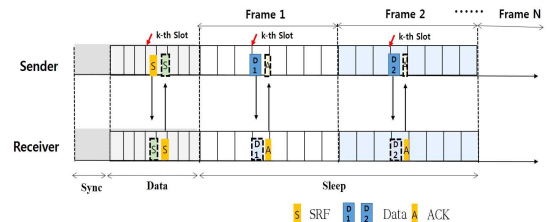


Fig. 3. SR-MAC Protocol scheduling.

### 3. DEBF-MAC 프로토콜의 설계

일반적으로 물체 이동 추적과 같은 응용에서는 평

소에는 전송할 데이터가 적으나, 이벤트가 발생할 경우에는 한꺼번에 많은 데이터 전송이 필요하다. 따라서 이와 같은 응용에 적합한 전송 메커니즘은 데이터 발생이 적을 때와 많은 때를 구분하여 이에 맞도록 적절히 전송하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 이와 같은 응용에 적합하면서, 특히 싱크 노드에서 데이터 집중 현상에 적합한 프로토콜을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 DEBF-MAC 프로토콜에서는 SR-MAC에서 사용되었던 SRF(slot-reserved frame)을 수정하여 사용한다. 수정된 SRF 프레임은 RTS/CTS 프레임과 같이 송신자 주소, 수신자 주소, 전송 길이, 슬롯의 수, 패킷의 수, 그리고 cross-layer 라우팅 정보뿐만 아니라, 수신자로부터의 SRF에는 프레임 확장 정보도 포함한다. SRF 프레임은 이웃 노드들 간의 핸드셰이킹 기능과 패킷 전송에서 슬롯의 예약 기능을 수행한다. 뿐 만 아니라 SRF 프레임은 송신 노드로부터의 스케줄링 요구와 싱크 노드로부터의 스케줄링 확인 기능을 함께 포함한다. 싱크 노드가 송신 노드로부터 SRF 프레임을 수신하면, SRF 프레임 내에 포함되어진 정보를 통해 Sleep 구간에서의 슬롯을 예약하고, 송신 노드에게 SRF 확인응답 프레임을 전송한다. 아래 Fig. 4는 DEBF-MAC 프로토콜의 동작을 나타낸다. DEBF-MAC에서는 하나의 동작 주기가 Sync1, Data, Sync2, 그리고 Sleep 구간으로 이루어진다. 기존의 SR-MAC이나 DW-MAC과 다른 점은 Sync2 구간이 추가된 것이다. 이 Sync2 구간 동안에 모든 노드들은 다시 한 번 wakeup하여 싱크 노드로부터 Sleep 구간의 확장 여부 정보를 얻을 수 있다.

Fig. 4는 여러 전송 노드들에서 하나의 싱크 노드로 데이터 패킷을 전송하는 방식의 개요를 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯이 전송할 데이터 패킷을 가지는

센서 노드들은 Data 구간에서 싱크 노드로 SRF 프레임을 전송한다. SRF 프레임을 전송할 때 노드들 사이에 CSMA/CA 방식을 사용한다. Data 구간 동안 동일한 가상 클러스터 안에 있는 1-홉 센서 노드들로부터 SRF 프레임을 수신한 싱크 노드는 수신한 SRF 프레임으로부터의 정보를 수집하여 이를 전송한 전송 노드들에게 sleep 구간에 충돌 없이 데이터 패킷을 전송할 수 있도록 슬롯 할당 정보를 담은 확인응답 SRF 프레임을 전송 노드들에게 보낸다. Data 구간에서 SRF 신호를 보낸 후 싱크 노드로부터 SRF 확인응답 신호를 받은 전송 노드들은 즉시 sleep 모드로 들어 간 후에 Sync2 구간에서 wakeup하여 싱크 노드가 보내는 확인응답 SRF 신호를 수신한다. 만약 영상 정보와 같은 많은 정보 전송이 필요한 노드는 Data 구간에 하나 이상의 SRF 패킷을 보내어 Sleep 구간에서 충분한 슬롯을 확보할 수 있다. 데이터 패킷의 전송이 이루어지는 Sleep 구간은 데이터 슬롯이라 불리는 M개의 슬롯으로 나누어진다. Sleep 구간의 하나의 데이터 슬롯에 오직 하나의 데이터 패킷만이 전송되도록 싱크 노드는 하나의 전송 노드에게만 특정 데이터 슬롯을 할당한다. Sleep 구간의 데이터 슬롯의 개수 M은 다음과 같은 관계식을 가진다.

$$M \leq \frac{T_{sleep}}{T_{dataslot}} \quad (3)$$

여기서  $T_{sleep}$ 은 sleep 구간이고,  $T_{dataslot}$ 은 하나의 데이터 슬롯의 길이를 나타낸다. 수식 (3)을 만족하는 슬롯의 길이는 일반 데이터의 전송 시간보다 훨씬 크기 때문에 많은 시간의 낭비를 초래할 수 있다 [9]. 따라서 SR-MAC에서는 Sleep 구간을 여러 개의 프레임으로 나누어 다중의 패킷 전송을 지원하고 있다. 최대 사용할 수 있는 프레임의 수 N은 다음의 관계식 (4)로부터 얻어질 수 있다.

$$N = \frac{T_{sleep}}{M \times T_{dataslot}} \quad (4)$$

싱크 노드는 각 전송 노드에게 sleep 구간에서의 데이터 슬롯을 다음과 같은 관계식을 통해 산출한다.

- $T_i$  : 전송 노드  $i$ 가 SRF 패킷을 전송한 시간
- $T_{dataslot}$  : 데이터 구간 시작 시간
- $T_{SRF}$  : SRF 패킷 전송에 걸리는 시간
- $k_i$  : 전송 노드  $i$ 가 sleep 구간에서 데이터 패킷을 보낼 데이터 슬롯 번호

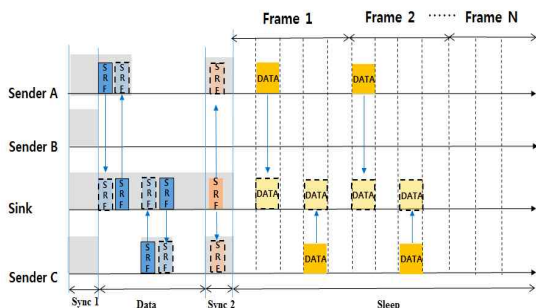


Fig. 4. DEBF-MAC Protocol scheduling.

$$k_i = \left\lceil \frac{(T_{data\ st} - T_i)}{T_{SRF}} \right\rceil \quad (5)$$

노드  $i$ 는 위의 식을 통하여  $k$ 를 구하여, Sleep 구간의 모든  $N$ 개 프레임의  $k$  번째 슬롯에서 데이터 패킷을 보낼 수 있다. 만약 Sleep 구간이 5개의 프레임으로 이루어졌다면, 하나의 전송 노드에서 하나의 동작 구간에서 최대 5개의 패킷을 전송할 수 있다. 5개 이상의 패킷을 보낼 필요가 있는 노드는 나머지 패킷은 다른 동작 구간에서 보내야 한다. 최근의 기술의 발달로 인하여 WSN의 활용 분야가 넓어지고 있다. 따라서 영상 데이터 전송이 필요한 경우 버스티한 데이터 전송이 필요할 수 있다. 만약 전송 노드가 보낼 데이터의 수가 프레임의 수  $N$ 보다 많을 경우 SRF 패킷에 Sleep 구간 확장요청 정보를 Data 구간에 실려 보낸다. 이 정보를 수신한 싱크 노드에서는 Sync2 구간 동안에 모든 노드들에게 Sleep 구간 확장 정보를 보냄으로 버스티한 데이터 전송 지연시간을 줄일 수 있다. Sleep 구간 확장요청이 없을 경우에는 모든 노드들은 Sync2 기존의 스케줄대로 동작한다.

#### 4. 성능 분석

본 장에서는 본 논문에서 제안하는 DEBF-MAC과 기존의 관련 MAC 프로토콜들과 성능을 비교 평가한다. 성능 분석을 위해 사용된 네트워크 파라미터 값은 Table 1과 같다. 본 논문에서는 송신 노드와 싱크 노드와의 전송을 위한 성능 분석을 위해 다음과 같이 가정한다. 송신 노드와 싱크 노드의 거리는 1홉 거리로 한정한다. 1,000m × 1000m의 사각형 구조의 네트워크의 구성은 임의로 배치된 100개의 노드와 송신 노드 10개와 중앙에 위치하는 1개의 싱크 노드로 되어있다. 총 10회 실험을 통하여 평균값을 취한

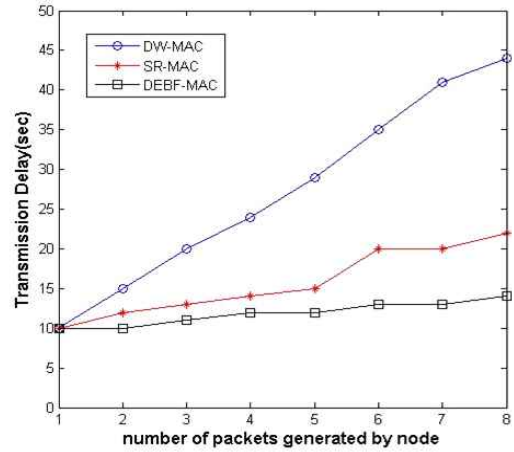


Fig. 5. Comparison of average packet transmission delay.

다. 성능 분석에서 사용된 duty 사이클 값은 표1에서 볼 수 있듯이 5%로 하였다. 성능 비교의 용이성을 위해 하나의 프레임에 할당되는 슬롯의 개수  $M$ 은 10개로 하였고, sleep 확장은 최대 3으로 하였다. 또한 이벤트 발생 시 노드에서 생성되는 데이터 패킷의 수는 9개로부터 16개까지 임의로 발생하였다고 가정한다.

Fig. 5는 싱크 노드와 센서 노드 사이의 평균 데이터 패킷 지연에 대한 결과를 보여준다. 그림에서 보듯이 DEBF-MAC 프로토콜이 다른 두 프로토콜보다 더 작은 전송 지연을 야기 시키는 것을 알 수 있다. SR-MAC과 패킷의 수가 작을 때에는 유사한 성능을 보이나, 패킷의 수가 6개 이상으로 늘어나는 경우, SR-MAC은 전체 패킷 전송을 위해 2 개의 동작 사이클이 필요하므로 지연이 늘어나는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 6은 이벤트가 발생하였을 경우, 즉, 전송 노드

Table 1. Networks Parameters [10]

Parameter	Value	Parameter	Value
Bandwidth	20Kbps	$T_x$ range	250m
$T_x$ Power	0.5W	data pkt size	50 Byte
$R_x$ Power	0.5W	$T_{sync1}$	55.2 ms
Idle Power	0.45W	$T_{data}$	142.0 ms
Sleep Power	0.05W	$T_{sleep}$	426.0 ms
SIFS	5 ms	$T_{sync2}$	10 ms
DIFS	10 ms	PION	14 Byte
RTS,CTX,ACK	10 Bytes	SRF	14 Byte



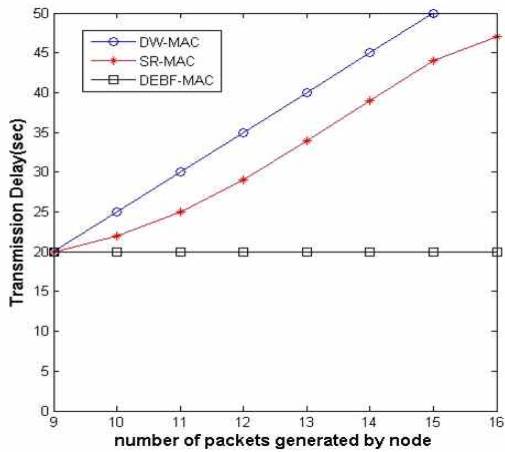


Fig. 6. Comparison of average packet transmission delay when an event occurs.

에서 많은 데이터 패킷을 전송할 경우의 지연에 대한 비교를 보여 준다. 예상했던 바와 같이 패킷의 수가 증가할수록 DEBF-MAC 프로토콜이 가장 낮은 지연을 가진다. 특별히 DEBF-MAC에서 패킷의 수가 증가하더라도 동일한 지연을 보여 주는 것은 노드에서 프레임 확장 기능을 사용했기 때문에 하나의 동작 사이클에서 모든 패킷을 전송할 수 있었기 때문이다.

Fig. 7은 하나의 센서 노드에서 소모하는 평균 에너지에 대한 비교를 보여 준다. 지연 비교에서와 마찬가지로 DW-MAC이 가장 많은 에너지를 소모하고, SR-MAC과 DEBF-MAC은 유사한 에너지 소모를 보이나, 노드에서 생성되는 패킷의 수가 증가할수

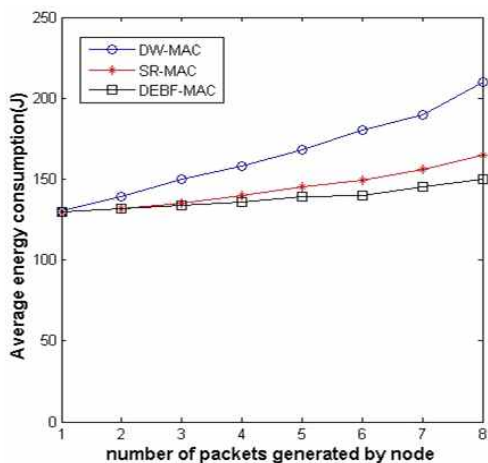


Fig. 7. Comparison of average sensor energy consumption.

록 DEBF-MAC이 더 적은 에너지를 소모하는 것을 알 수 있다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 물체 이동과 같은 응용에서 이벤트가 발생하였을 경우 센서 노드에서 많은 데이터를 생성하는 경우와 싱크 노드 주변의 노드들처럼 버스티한 데이터를 전송해야 할 때 전송 지연을 줄이는 새로운 프로토콜을 제안하였다. 새로운 프로토콜에서는 슬롯 예약 메커니즘과 Sleep 구간 확장 기능을 가지고 있어서 버스티한 데이터 전송을 효율적으로 처리할 수 있다. 이를 위해 기존 방식의 전체 동작 사이클을 수정하여 두 번의 노드 sync 구간을 사용하였다. 비록 모든 노드들이 하나이 동작 사이클 동안에 두 번 wakeup하는 번거로움이 있으나, 이벤트가 발생하였을 경우 하나의 동작 사이클 동안에 훨씬 많은 데이터 패킷을 전송함으로써 전체 패킷 전송 지연을 감소시킬 수 있었다. 그러나 멀티 홉 네트워크 환경에서 하나의 동작 사이클 내에 여러 예약 요청 패킷을 보내기 위해서 충분한 Data 구간이 필요하고, 이를 멀티 홉으로 전송하기 위해 모든 노드들이 wakeup 상태에 머물러야하기 때문에 많은 에너지를 소모한다는 문제점을 가진다. 추후 이러한 멀티 홉 환경에서의 적합성 연구가 이루어질 예정이다.

### REFERENCE

[1] U.A. Patil, V.M. Smita, and B.J. Suma, "A Survey: MAC Layer Protocol for Wireless Sensor Networks," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, Vol. 3, pp. 203-211, 2013.

[2] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," *Proceedings of the 21st Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, Vol. 3, pp. 1567-1576, 2002.

[3] T.V. Dam and K. Langendoen, "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," *Proceedings of the First International Conference on Embedded Net-*

*Worked Sensor Systems*, pp. 171-180, 2003.

[4] Y. Sun, O. Gurewitz, and D.B. Johnson, "RI-MAC: A Receiver-Initiated Asynchronous Duty Cycle MAC Protocol for Dynamic Traffic Loads in Wireless Sensor Networks," *Proceeding of the 6th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems*, pp. 1-14, 2008.

[5] G. Ahn, E. Miluzzo, A.T. Campbell, S.G. Hong, and F. Cuomo, "Funneling-MAC: A Localized, Sink-Oriented MAC for Boosting Delity in Sensor Networks," *Proceeding of ACM Conference Embedded Networked Sensor Systems*, pp. 293-306, 2006.

[6] H.Y. Kim, S.C. Kim, J.H. Jeon, and J.J. Kim, "Traffic Adaptive Wakeup Control Mechanism in Wireless Sensor Networks," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 17, No. 6, pp. 681-686, 2014.

[7] V. Nguyen, M. Gautier, and O. Berder, "FTA-MAC: Fast Traffic Adaptive Energy Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," *Proceeding of Enterprise Application Integration International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks*, pp. 207-219, 2016.

[8] S. Du, A. Saha, and D. Johnson, "RMAC: A Routing-Enhanced Duty-Cycle MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," *Proceedings of the 26th Annual IEEE Conference on Computer Communications*, pp. 1478-1486, 2007.

[9] Y. Sun, S. Du, O. Gurewitz, and D. Johnson, "DW-MAC: A Low Latency, Energy Efficient Demand Wakeup MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," *Proceedings of the Ninth ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*, pp. 53-62, 2008.

[10] H. Tang, J. Cao, X. Liu, and C. Sun, "SR-MAC: A Low Latency MAC Protocol for Multi-Packet Transmission in Wireless Sensor Networks," *Journal of Computer Science and Technology*, Vol. 28, No. 2, pp. 329-342, 2013.



김혜윤

상명대학교 컴퓨터과학과 박사과정  
관심분야: 무선 센서네트워크, MAC  
프로토콜, 멀티미디어통신, 유  
비쿼터스



김성철

상명대학교 컴퓨터과학과 교수  
관심분야: 무선 센서네트워크, MAC  
프로토콜, QoS 통신, 초고속  
통신망, 멀티미디어통신